

# Sistema de Alimentación de Antena en Guía de Onda y Banda-Ka para Aplicaciones de Polarimetría

Juan L. Cano<sup>(1)</sup>, Angel Mediavilla<sup>(1)</sup>, Eduardo Artal<sup>(1)</sup>, Roger Hoyland<sup>(2)</sup>

juanluis.cano@unican.es, angel.mediavilla@unican.es, eduardo.artal@unican.es, rjh@iac.es

<sup>(1)</sup> Dpto. de Ing. de Comunicaciones. Universidad de Cantabria. Plaza de la Ciencia s/n, 39005, Santander.

<sup>(2)</sup> Instituto de Astrofísica de Canarias. c/ Vía Lactea s/n, 38205, La Laguna, Tenerife.

**Abstract-** This paper presents the design and measurement results of different waveguide hardware designed for an antenna feed system intended for polarimetry applications in the Ka-band (26 – 36 GHz). The proposed structure, based on a square-waveguide polarizer followed by an orthomode transducer, represents an alternative to the classical setups using septum polarizers, improving their achievements in terms of bandwidth.

Due to the low polarization levels and the relatively large polar foregrounds to be detected, the subsystems must exhibit a great performance, minimizing cross-polarization effects and leaks between signal components. The designed corrugated feedhorn has a measured cross-polarization around -40 dB, whereas the polarizer axial-ratio is below 0.15 dB and the orthomode transducer isolation is better than 50 dB.

## I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de alimentación de antena en guía de onda se utilizan en muchas aplicaciones. Por ejemplo, en los sistemas de comunicación por satélite, estructuras que incluyen un polarizador, como el que se presenta en esta contribución, se emplean para aumentar la capacidad y versatilidad del canal de comunicación. En este tipo de aplicaciones, estas estructuras permiten la transmisión y recepción utilizando diferentes polarizaciones y así aprovechan de un modo eficiente el ancho de banda.

Existen otro tipo de aplicaciones donde no se busca incrementar la capacidad del canal sino polarizar la señal que se recibe o transmite. Este es el caso de los polarímetros, en los cuales el objetivo es caracterizar el estado de polarización de la onda recibida, para lo cual suelen transformar la polarización incidente y luego separan ésta en sus componentes ortogonales.

Dentro del proyecto en el que esta contribución se engloba, se pretende medir la polarización del fondo cósmico de microondas (CMB), el cual se cree que está ligeramente polarizado de forma lineal (< 7%). Para su detección, en este proyecto se ha desarrollado un sistema receptor que cuenta con una antena de bocina corrugada, un polarizador que polariza la señal incidente de forma circular, y un ortomodo (OMT) que separa las componentes ortogonales de esta señal.

Generalmente, la función eléctrica que hacen conjuntamente el polarizador y el OMT se ha venido realizando mediante una estructura llamada polarizador *septum*, la cual polariza de forma circular y separa las

componentes ortogonales en un solo dispositivo. Sin embargo, las estructuras de este tipo encontradas en la literatura tienen cierta limitación en el ancho de banda (< 30%) [1]-[3].

En este artículo se propone una estructura que permite obtener las componentes a izquierdas y derechas de una onda incidente en un gran ancho de banda. Debido a las estrictas prestaciones, en términos de error de fase del conjunto, requeridas por el proyecto, este sistema se optimiza para ofrecer un comportamiento notable en un ancho de banda desde 26 a 36 GHz (33%), pudiéndose aumentar éste si se permiten unas especificaciones más relajadas. Esta estructura es sencilla de mecanizar y es fácilmente escalable para ser utilizada a frecuencias mayores

## II. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El sistema propuesto se muestra en la Fig. 1, en la cual se pueden apreciar la bocina corrugada, el polarizador en guía de onda cuadrada, y el OMT, con entrada en guía circular y salidas en guía rectangular WR-28.

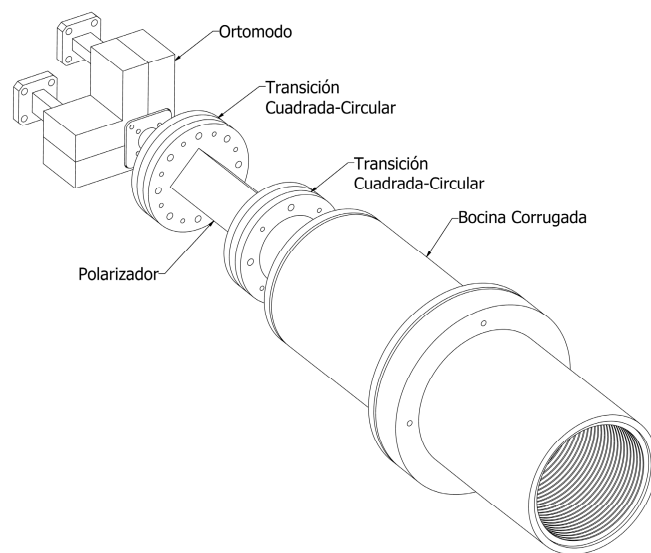


Fig. 1. Sistema de alimentación de antena para un polarímetro en la banda 26 – 36 GHz.

Para que el sistema realice la función requerida es necesario que el polarizador esté girado 45° respecto al sistema de referencia marcado por el OMT, tal y como se muestra en la Fig. 1. Se supone una señal con polarización

lineal a la entrada de la bocina (ver Fig. 2a), según el eje de coordenadas marcado por el OMT ( $x, y$ ); se hace pasar esta señal por un dispositivo que gire el sistema  $45^\circ$  respecto al OMT (coordenadas  $u, v$ ) obteniéndose las componentes mostradas en la Fig. 2b a la entrada del polarizador; seguidamente la señal atraviesa el polarizador, el cual desfasa  $90^\circ$  una de las componentes del campo eléctrico (ver Fig. 2c); finalmente la señal llega al OMT donde se gira de nuevo el sistema de coordenadas y se obtienen dos componentes en sus salidas de igual magnitud y desfásadas  $90^\circ$  (Fig. 2d).

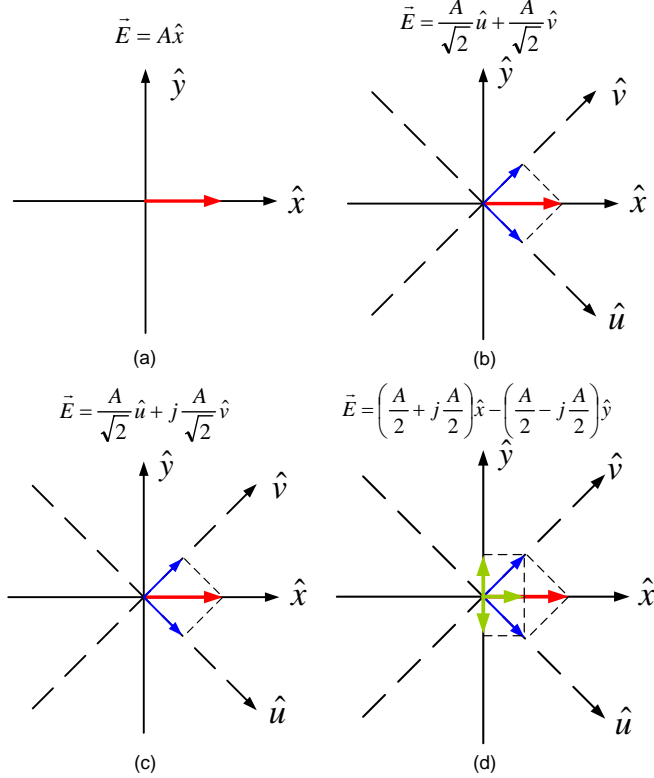


Fig. 2. Principio de operación del sistema de alimentación de antena con polarizador.

Por tanto, a la salida del sistema presentado se obtienen dos señales ortogonales proporcionales a las componentes a izquierdas y derechas de la señal de entrada. Estas señales son posteriormente amplificadas, filtradas y correladas en el sistema receptor de tal forma que se obtienen los parámetros de Stokes que caracterizan el estado de polarización de la señal bajo estudio.

### III. DISEÑO DE LOS SUBSISTEMAS

#### A. Bocina Corrugada

Desde el punto de vista eléctrico, el diseño de la bocina se divide en dos partes bien diferenciadas. Por un lado la garganta de la bocina, la cual se optimiza para obtener una buena adaptación y polarización cruzada; y por otro lado el resto de la bocina, que proporciona la ganancia y el diagrama de radiación deseados. Especial cuidado se debe tener con la polarización cruzada ya que este tipo de aplicaciones requieren que ésta sea máxima para que la sensibilidad a la polarización sea lo mejor posible.

El puerto de acceso a la bocina es una guía circular de sección constante con diámetro 8 mm. Este diámetro es ligeramente superior a la dimensión  $a$  de la guía WR28 pero ha sido necesario su aumento para permitir una buena adaptación en la parte baja de la banda de interés. Desde este

diámetro las corrugaciones, 179 en total, van aumentando las dimensiones de la bocina hasta alcanzar un diámetro de salida de 58.2 mm. La Fig. 3 muestra los parámetros más representativos de la antena medidos en una cámara anecoica. El parámetro de adaptación ha sido medido en el laboratorio con el analizador de redes conectado a la antena y ésta radiando libremente. El rizado en la medida de la polarización cruzada es debido a la proximidad con el fondo de ruido del sistema de medida. La Fig. 4 muestra un ejemplo de diagrama de radiación de la bocina en una de las frecuencias centrales de la banda de diseño.

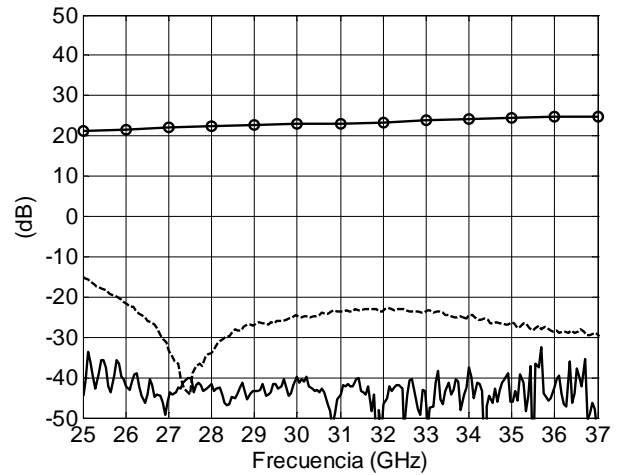


Fig. 3. Resultados medidos de la bocina corrugada; adaptación (línea discontinua), directividad (círculos), y polarización cruzada (línea sólida).

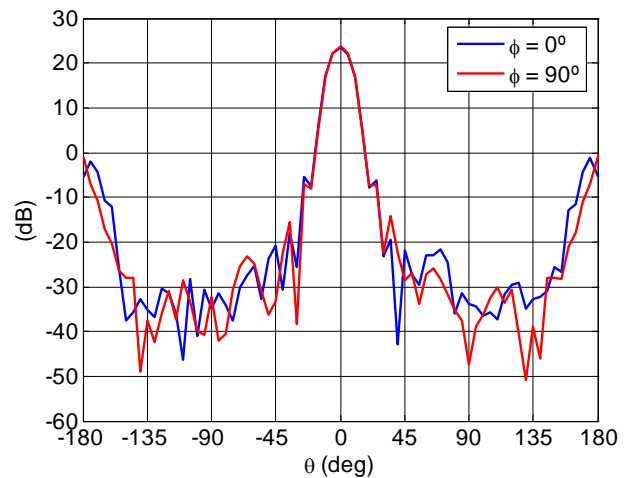


Fig. 4. Diagrama de radiación de la bocina corrugada a 32 GHz.

Mecánicamente, la antena se divide en tres partes para poder asegurar un preciso mecanizado de la misma, ya que el número y profundidad de las corrugaciones hace necesario trabajar con herramientas especialmente diseñadas para la máquina de control numérico.

#### B. Polarizador

El polarizador es una guía de sección cuadrada ( $a = b = 7.54$  mm) en la cual se han mecanizado unos escalones o aletas (ridge) los cuales permiten una adaptación de los campos a la vez que desfasan  $90^\circ$  entre los dos modos ortogonales que se propagan en dicha guía ( $TE_{10}$  y  $TE_{01}$ ). El esquema de este polarizador se muestra en la Fig. 5.

El diseño de este subsistema se basa en [4]. A diferencia de [4], en este caso no ha sido necesario realizar

corrugaciones adicionales en una de las secciones ridge ya que el ancho de banda es relativamente pequeño para este tipo de estructuras, lo que facilita el mecanizado y elimina fuentes de error que pueden deteriorar el comportamiento del componente. Los resultados medidos del polarizador se presentan en la Fig. 6.

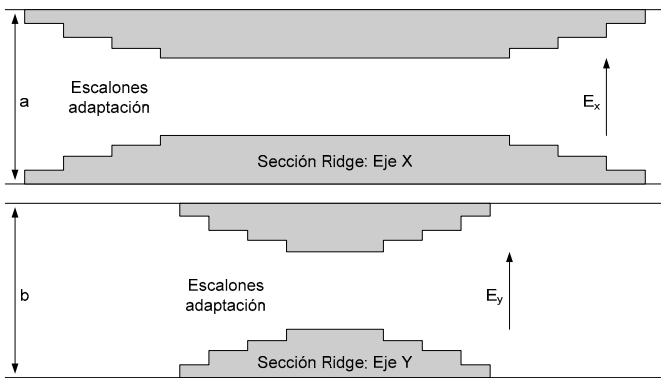


Fig. 5. Esquema del polarizador en guía cuadrada.

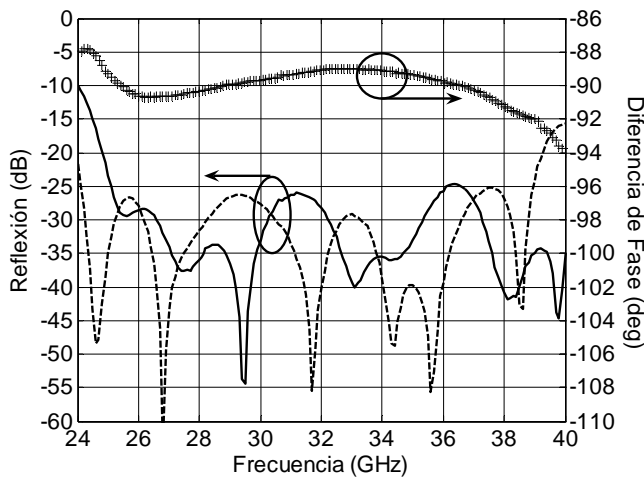


Fig. 6. Características medidas del polarizador; reflexión de los dos modos propagados en la guía cuadrada,  $TE_{10}$  y  $TE_{01}$  (líneas sólida y discontinua); diferencia de fase entre los modos propagados (cruces). La diferencia de fase está en el rango  $90^\circ \pm 1^\circ$  en la banda de interés.

La diferencia de fase en la banda 26 – 36 GHz está dentro del rango  $90^\circ \pm 1^\circ$ , lo cual corresponde a una relación axial mejor de 0.15 dB, siendo esto una característica muy importante del subsistema que permite, junto con el buen valor de polarización cruzada de la bocina, un instrumento muy sensible a bajos índices de polarización de la señal en estudio. Por su parte, las pérdidas de inserción del polarizador se mantienen prácticamente planas entorno a los 0.18 dB para ambos modos en todo el ancho de banda de interés.

### C. Ortomodo

El ancho de banda teórico de un ortomodo está limitado por las frecuencias de corte de los modos fundamentales en los tres puertos físicos y los primeros modos de orden superior que se propagan en la estructura. Por otra parte, en este sistema se requiere que las salidas del OMT estén en fase, por lo que éste se diseña con caminos eléctricos iguales manteniendo la simetría en la estructura.

El ortomodo realizado se basa en el diseño presentado en [5] sobre el que se han hecho pequeñas modificaciones durante el proceso de fabricación a fin de minimizar el

desalineamiento del elemento central y por tanto, mejorar el funcionamiento de todo el subsistema.

Para el correcto mecanizado, el OMT se divide en cuatro piezas que se unen en el eje de la guía circular de entrada y por tanto las guías rectangulares se dividen en el plano del máximo del campo eléctrico. La Fig. 7 muestra un dibujo de del ortomodo en el que una de las piezas ha sido eliminada para poder apreciar el interior del mismo.

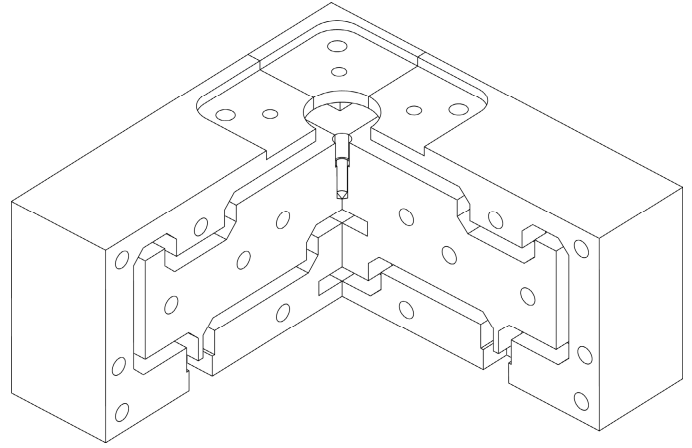


Fig. 7. Dibujo del ortomodo mostrando los caminos internos.

La Fig. 8 muestra los parámetros medidos más representativos del funcionamiento del ortomodo.

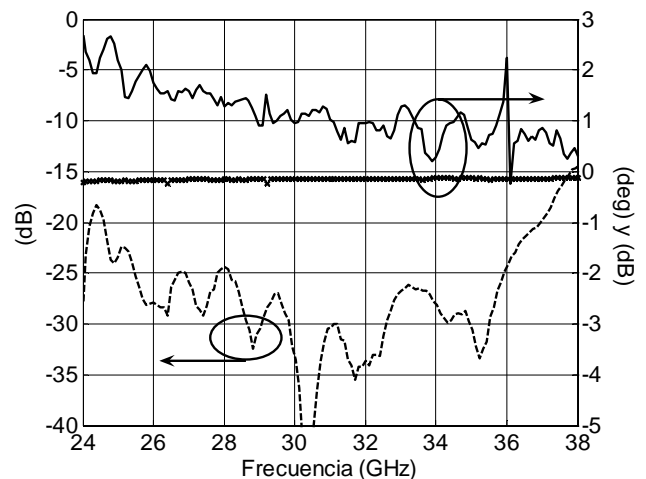


Fig. 8. Características medidas del ortomodo; reflexión en el puerto rectangular (línea discontinua); diferencia de fase entre las ramas de la estructura (línea sólida); y transmisión en una de las ramas (cruces). El valor medio de las pérdidas de inserción en la banda es de 0.15 dB.

Para medir la adaptación en los puertos rectangulares se ha conectado el OMT a los puertos del analizador de redes mientras que se ha situado una carga radiante en el acceso circular del ortomodo. De esta medida también es posible obtener el aislamiento entre accesos, resultando un valor, en general, mejor de 50 dB (no se muestra en la Fig. 8). En el caso de las pérdidas de inserción se utiliza un cortocircuito en el acceso circular, de forma que este valor se puede obtener como la mitad del parámetro de reflexión, ya que el aislamiento en la estructura es muy bueno. El valor medio de pérdidas de inserción en la banda de interés es de 0.15 dB. De manera similar, con un cortocircuito en el acceso circular, se puede calcular el desfase entre caminos simplemente restando las fases de las reflexiones vistas desde los dos

puertos rectangulares. El valor medio de desfase entre ramas del OMT está en torno a  $1^\circ$ .

#### D. Transición Circular-Cuadrada

Como se ha mostrado anteriormente, tanto el acceso de la bocina como el del ortomodo son en guía circular con un diámetro de 8 mm. Esto obliga a utilizar un par de transiciones entre guía circular y guía cuadrada para poder conectar el polarizador, a la vez que permiten el giro de  $45^\circ$  de éste. Estas transiciones deben ofrecer muy bajas pérdidas de inserción, un funcionamiento libre de modos superiores y unas pérdidas de retorno muy buenas en un gran ancho de banda.

Las transiciones empleadas son una versión escalada y optimizada del diseño presentado en [6]. La Fig. 9 presenta un dibujo de la transición diseñada para este sistema, en el cual se pueden apreciar los accesos octogonales así como los escalones de adaptación de impedancias, tres en este caso.

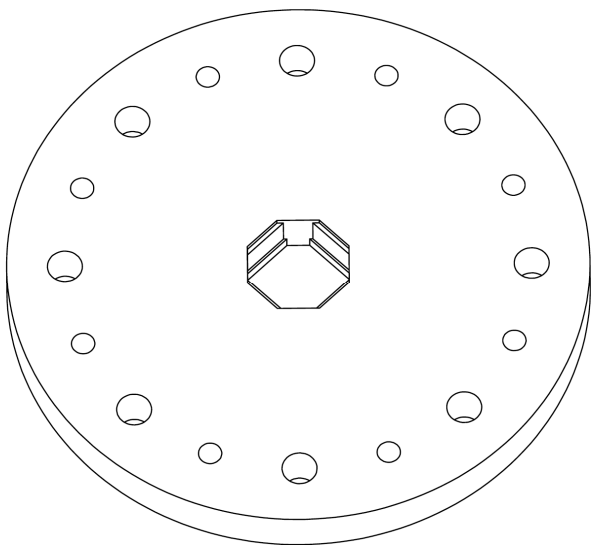


Fig. 9. Dibujo de la transición circular-cuadrada utilizada en este sistema.

Esta transición octogonal hace uso de tres secciones intermedias con casi la misma frecuencia de corte que las guías que se conectan a sus extremos. De esta forma se asegura una transformación de impedancias casi independiente de la frecuencia en un corto espacio, lo cual permite un ancho de banda muy grande sin complicar ni apenas aumentar el tamaño de la estructura global. La adaptación de estas transiciones, medidas en configuración back-to-back, es mejor de 35 dB en todo el ancho de banda.

Finalmente, en la Fig. 10 se muestra una fotografía de todo el sistema ensamblado. Por el momento no se ha podido caracterizar el conjunto pero el magnífico funcionamiento de sus partes hace prever un buen comportamiento del sistema.

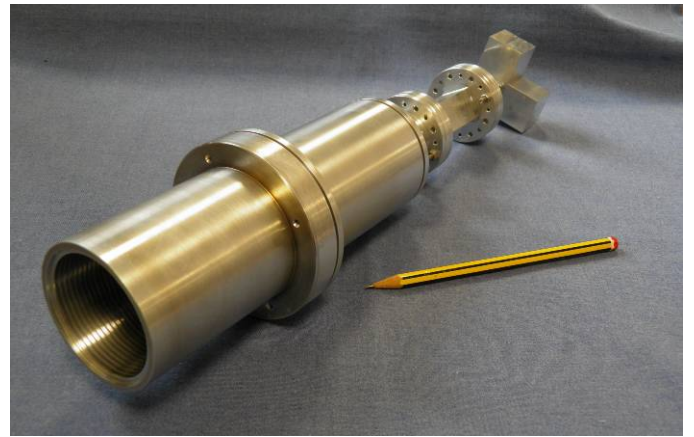


Fig. 10. Fotografía del conjunto alimentador y la bocina en banda-Ka.

#### IV. CONCLUSIONES

En este artículo se ha presentado el diseño y caracterización de los diferentes elementos que componen un sistema de alimentación de antena, y la antena de bocina misma, para un polarímetro en el marco de las aplicaciones radioastronómicas. Los resultados mostrados de los diferentes componentes individuales hacen prever que el sistema ensamblado ofrecerá un magnífico comportamiento eléctrico y permitirá detectar los bajos valores de polarización existentes en el fondo cósmico de microondas, inmersos entre otras contribuciones polarizadas de mayor nivel en primer plano.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren hacer constar su agradecimiento a Ana Ruiz, de la compañía TTI Norte, Santander, España, por realizar las medidas de la antena en la cámara anecoica.

Asimismo, los autores agradecen al Ministerio de Ciencia e Innovación el apoyo económico para la realización de este trabajo a través del proyecto AYA2010-21766-C03-03 del programa de Astronomía y Astrofísica.

#### REFERENCIAS

- [1] J. Bornemann and V. A. Labay, "Ridge Waveguide Polarizer with Finite and Stepped-Thickness Septum", *IEEE Microwave Theory and Tech.*, vol. 43, no. 8, August 1995, pp. 1782-1787.
- [2] M. Kaiden, K. Kimura, H. Ogawa, T. Kasuga, M. Tsuboi, and Y. Murata, "Septum Polarizer for Ka-Band H-Shaped Rotary Joint", *J. Infrared Milli. Terahz. Waves*, vol. 30, no. 7, 2009, pp. 727-737.
- [3] W. Zhong, B. Li, Q. Fan, and Z. Shen, "X-Band Compact Septum Polarizer Design", *IEEE Int. Conf. Microw. Tech. and Computational Electromagnetics (ICMTCE)*, May 2011, pp. 137-170.
- [4] A. Tribak, A. Mediavilla, J. L. Cano, M. Boussois, and K. Cepero, "Ultra-Broadband Low Axial Ratio Corrugated Quad-Ridge Polarizer", *Proc. 39th European Microwave Conf. (39th EuMC)*, Roma, Italy, Oct. 2009, pp. 73-76.
- [5] J. L. Cano, A. Tribak, R. Hoyland, A. Mediavilla, and E. Artal, "Full Band Waveguide Turnstile Junction Orthomode Transducer with Phase Matched Outputs", *Int. J. RF and Microwave CAE*, vol. 20, no. 3, May 2010, pp. 333-341.
- [6] A. Mediavilla, J.L. Cano, K. Cepero, "On the Octave Bandwidth Properties of Octagonal-Shaped Waveguide Mode Transformers", *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. 59, n° 10, pp. 2447-2451, October 2011.